

利用测井曲线的分数维分析火山岩地层的结构

杨雪, 潘保芝, 张莹

吉林大学地球探测科学与技术学院, 长春 (130026)

摘要: 区别不同结构的火山岩对于后续的油气储层评价、裂缝发育情况估计十分重要。本文通过对测井曲线分数维的提取来反映火山岩地层的结构, 观察到结构比较复杂的火山碎屑岩的分数维普遍比结构比较简单的火山熔岩的大, 所以可以用分数维的大小来反映火山岩地层的结构的复杂程度。

关键词: 测井曲线, 火山岩, 地层结构, 分数维

0. 引言

由于火山岩的岩性及结构复杂多变, 如流纹岩和流纹质凝灰岩两者成分相当但结构不同^[2], 常规测井曲线的数值范围基本相同, 对于缺少成像测井资料的井段, 靠测井曲线的常规解释方法很难识辨流纹岩和流纹质凝灰岩^[1]。而测井曲线具有分形特征, 本文试图通过求取测井曲线的分数维来反映火山岩的结构, 从而识辨成分相当结构不同的岩石。

1. 分形与火山岩岩石结构

分形是人们在自然界和社会实践活动中所遇到的不规则事物的一种数学抽象, 分形是对没有特征长度但具有一定意义下的自相似图形和结果的总称。实际上, 自然界中没有真正的分形, 但它们均有一个共同的特点, 没有统一的特征尺度, 却有自相似的结构, “一定尺度下的近似”正是分形理论得以广泛应用的思想基础^[3]。分维可对一切具有自相似结构的事物进行定量描述。

火山岩地层的岩性、物性和裂缝孔隙空间结构及含流体性质等方面的特征综合反映在具有自相似性的不规则曲线—测井曲线上, 而测井曲线在形态、幅值等特征上的复杂性或非均一性便可通过计算其分维值加以定量描述^[4]。熔岩的测井曲线一般平滑, 火山碎屑岩在测井曲线上表现为曲线振荡起伏, 这种现象主要是由岩石结构上的差别而产生的, 而分维可以描述测井曲线的抖动剧烈程度, 因此可以利用测井曲线的分维对火山岩岩石结构进行描述, 也就是说结构越复杂, 分维越高。

2. 分维的测算方法

分数维的定义方法很多, 在计算测井曲线的分数维时, 关联维是一种常用的分维数。陆敬安(1996)、王天波(1998)、石玉田(2000)等在研究测井曲线的分形性质时都应用了关联维方法, 在本文中也采用关联维方法。计算测井曲线的关联维采用嵌入空间法。嵌入空间法主要用于时间序列分析, 它是把一定时间范围内不同时刻观测的数据序列人为地拓展到一定维数的向量空间, 通过向量分析方法对观测数据进行研究的方法^[5]。具体算法见石雨田(2000)。

计算测井曲线关联维数时, 每次在测井曲线上取一定窗口长度的井段计算其关联维数, 窗口的中点深度作为关联维数对应的深度从第一个深度采样点开始向下逐个采样点移动窗口, 可以得到逐点计算的关联维曲线。

在计算分维值时, 要考虑曲线、相空间维数 m 、间距 n 、相空间点数 N 等的影响^[6], 在本文参数选择如下:

(1) 在这里我们选取纵向分辨率比较高的测井曲线进行计算, 如微球形聚焦 (MSFL)

测井曲线和微侧向 (RMLL) 测井曲线。

(2) 维数太小不足以反映内部性质, 一般说来, m 取 6 时, 斜率基本保持不变, 即分维值稳定。在本文中为了能更好的反映内部性质, m 取 8。

(3) n 对求取分维 D 的影响基本上可以忽略, 在本文 n 取 3。

(4) N 对计算分维的影响很小, 但 N 不能太小, 这样会失去统计意义, 太大会导致计算量太大, 计算速度减慢。在本文中 N 取 70。

3. 实例分析

利用上述方法和原理对某地区一些井的测井曲线计算分维, 并进行了解释。表 1 为不同井的相同测井曲线计算的分维值, 列出了在相同计算参数下不同井中凝灰岩、火山角砾岩、流纹岩和英安岩的分维值, 可以看出, 凝灰岩和火山角砾岩这些火山碎屑岩的分维值比较大, 流纹岩和英安岩这些火山熔岩的分维值比较小。通过对不同井的分维值的对比, 从表 1 中可以看出, 不同井的因素对分维值的计算结果影响很小, 所以可以进行井间对比。火山碎屑岩的分维值通常在 1 以上, 火山熔岩的分维值通常在 1 以下, 如果期望再对两类岩石进行细分, 则需要其它依据, 由于凝灰岩和火山角砾岩的分维值差别不大, 流纹岩和英安岩的分维值差别也很小, 所以本文的方法无法对它们再进行细分。

表 1 相同测井曲线不同井的分维值对比

Table 1 The fractal dimension of the same log indifferent wells

井号	深度 (m)	岩性	分维 D
井 1	4283.76	凝灰岩	1.50
井 1	3995.3	凝灰岩	1.63
井 2	2985.32	凝灰岩	1.53
井 2	3148.48	凝灰岩	1.40
井 3	3672.92	凝灰岩	1.61
井 3	3846.48	凝灰岩	1.59
井 1	4218	火山角砾岩	1.49
井 2	3386.46	火山角砾岩	1.58
井 2	3440.74	火山角砾岩	1.32
井 3	3717.18	火山角砾岩	1.61
井 3	3785.3	火山角砾岩	1.36
井 1	3916.5	流纹岩	0.48
井 2	3244.38	流纹岩	0.51
井 2	3466.38	流纹岩	0.94
井 3	3755.2	流纹岩	0.63
井 1	3925.56	英安岩	0.33
井 2	2996.06	英安岩	0.63
井 2	3376.36	英安岩	0.66
井 3	3859.8	英安岩	0.54
井 3	4000.22	英安岩	0.30

图 1 为某井段的岩性综合图，从图中可以看出微球形聚焦（MSFL）测井曲线对结构的变化反应比较敏感，并且分维值的大小可以反映曲线的抖动情况，曲线抖动越剧烈，分维值越大，反之越小。当岩性为结构比较复杂的凝灰岩，火山角砾岩时，测井曲线的抖动比较剧烈，进而导致分维值较大，当岩性变为英安岩时，测井曲线变平缓，导致分维值较低。从图中可以看出随岩石结构变化的分维(D)曲线的变化趋势。

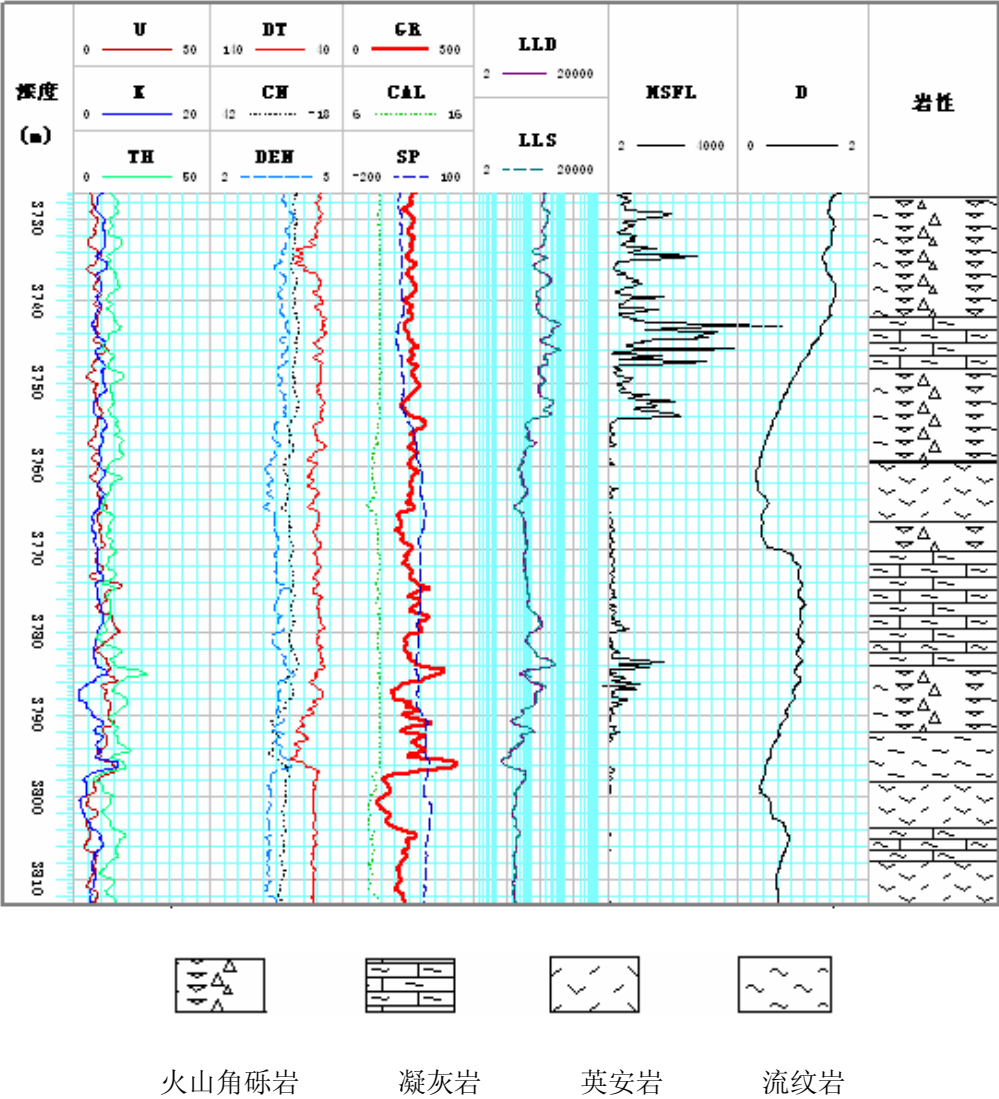


图 1 井 A 某井段测井曲线、分维、岩性综合图
Fig.1 Logs, fractal dimension and lithology of well A

图 2 为某井段的岩性综合图，图中的分维（D）曲线是通过微侧向（RMLL）测井曲线计算而提取的。从图中可以看出流纹质凝灰岩段的分维值比流纹岩段的分维值大，与结构越复杂分维值越大相符。所以可以通过分维值的求取来划分流纹质凝灰岩和流纹岩，从而弥补交会图法画分两种岩性的不足。

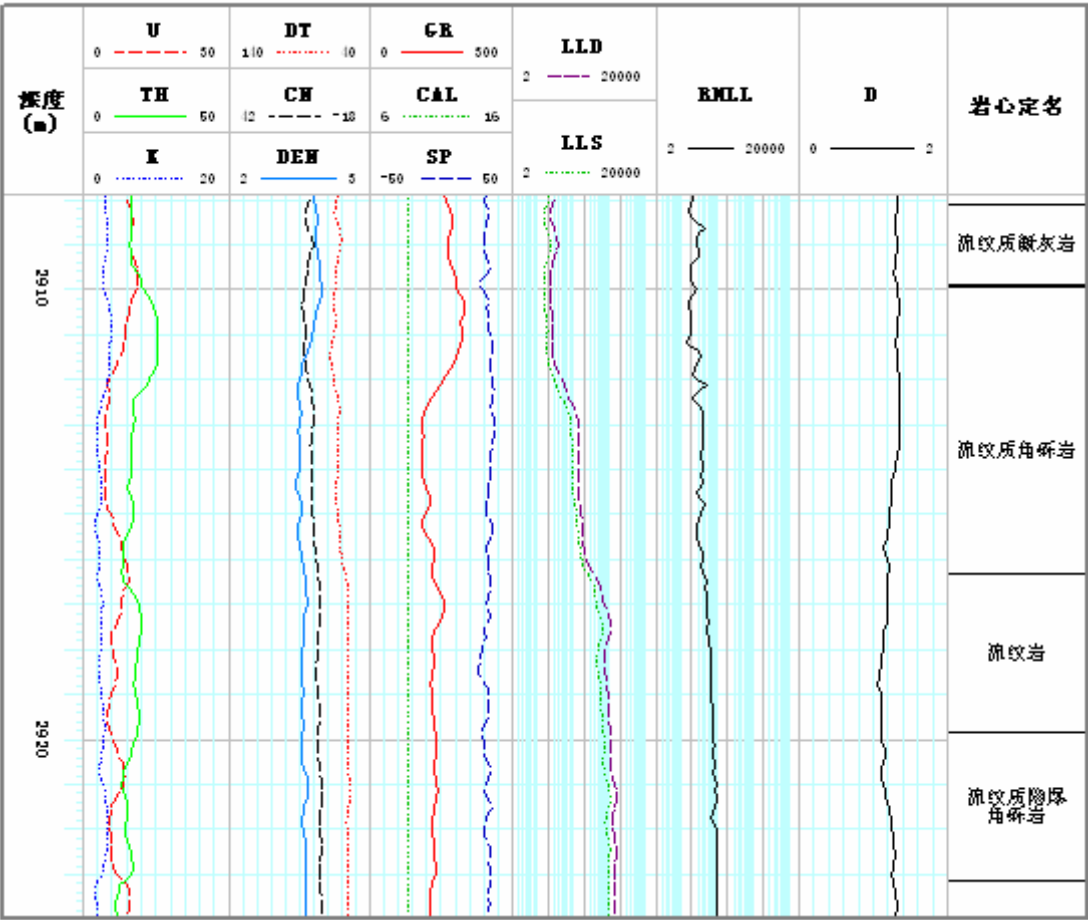


图 2 井 B 某井段测井曲线、分维、岩性综合图
Fig.2 Logs, fractal dimension and lithology of well B

4. 结论

本文应用嵌入空间法，通过编程对火山岩井段不同岩性的测井曲线提取分维，得出以下结论：

- (1)在计算分维时，采用分辨率较高的测井曲线，空间点数选择时应综合考虑选择。
- (2)火山碎屑岩，由于角砾大小混杂，角砾间孔洞发育，裂缝比较多，结构比较复杂。火山熔岩，通常是呈大块分布的，结构比较简单。提取的分维值表明火山碎屑岩的分维值 D 通常比火山熔岩的大,即结构越复杂，分维值 D 越大。
- (3)引入分形理论对岩性结构特征进行分析，研究表明，对于矿物成分相同而结构不同的两类岩石，可以利用分维值对其结构的差别进行描述，为岩性的划分提供更多依据。

参考文献

- [1]潘保芝. 裂缝性火成岩地层测井评价方法. 石油工业出版社, 2003.
- [2]邱家骧, 陶奎元, 赵俊磊, 马昌前. 火山岩. 地质出版社, 1996.
- [3]张济忠. 分形. 清华大学出版社, 1995.
- [4]D.L. 特科特. 分形与混沌-在地质学和地球物理学中的应用. 地震出版社, 1993.
- [5]潘保芝, 薛林福. 分数维及其在测井地质解释中的应用[J]. 测井技术, 1992, (3) : 214-221.
- [6]石雨田, 潘保芝. 分维的应用—定量描述裂缝发育程度. 物探与化探[J], 2000, 24 (6) : 426-430.

Analyzing the Structure of Igneous Formations with the Fractal Dimension of Logs

Yang Xue, Pan Bao-zhi, Zhang Ying

College of GeoExploration Science and Technology, Jilin University, Changchun (130026), China

Abstract

It is very important to distinguish the different structures of igneous formations for subsequent estimation of reservoir and fracture development. In the paper, reflecting the structure of igneous formation by calculating fractal dimension of logs, the fractal dimension of pyroclastic is larger than lava is founded. Structure of pyroclastic is more complicated than that of lava, so reflecting the structure of igneous formation's complexity with fractal dimension is feasible. So it is feasible to reflect the structure of igneous formation's complexity with fractal dimension.

Keywords: log, igneous rock, formation structure, fractal